语义距离与创造性思维关系的元分析*

李亚丹 [1] 杜颖 [1] 谢聪 [1] 刘春宇 [1] 杨毅隆 [2] 李阳萍 [1] 邱江 [3,4]

([1]陕西师范大学现代教学技术教育部重点实验室, 西安 710062)

([2]西安外国语大学英文学院, 西安 710019)

([3]西南大学认知与人格教育部重点实验室; [4]西南大学心理学部, 重庆 400715)

摘 要 自然语言处理的发展为探究语义距离与创造性思维的关系提供了可靠且有效的研究方法。近些年关于两者之间关系的研究逐渐增多，但研究结论并不一致。本研究基于创造力联想理论及扩散激活模型，通过元分析的方法探讨了语义距离与创造性思维的整体关系并且分析了以往研究结论不一致的原因。本文经过文献检索和筛选后获得 14 项研究，提取 *r* 值作为效应值 (共 53 个效应值，4729 个独立样本)，并使用随机效应模型进行了元分析。结果显示：语义距离与创造性思维存在中等程度的正相关 (r = 0.379, 95%CI [0.300, 0.452])；二者的相关强度受到被试年龄和创造性思维不同测量指标的调节。研究结果表明语义距离与创造性思维关系密切，同时解释了以往研究结论不一致的原因。上述结果不仅能为更深入地探讨创造性思维的认知神经机制提供新的研究视角和理论解释，而且有助于更全面地理解语义距离与创造性思维二者的关系及其边界条件，为更好地解释、预测和提升创造力提供科学依据和重要启示。

关键词 创造性思维，语义距离，创造力测量，元分析

收稿日期：2022-06-28

* 教育部人文社会科学研究青年基金项目(22XJC190001); 陕西省自然科学基础研究计划一般项目(2022JQ-156); 陕西省哲学社会科学重大理论与现实问题研究项目“教育神经科学视角下的陕西高校教师评价学生创新观点的研究”资助。

通信作者：邱江, E-mail: qiuj318@swu.edu.cn; 李亚丹, E-mail: liyadan@snnu.edu.cn

1 前言

创造性思维是一种高层次的思维活动，对科学进步和社会发展具有深远的影响，其核心的认知成分之一就是基于语义记忆的联想能力 (Acar & Runco, 2014; Marron et al., 2018)。个体的联想能力及其在进行创造性活动时的联想过程均可以通过语义距离 (semantic distance) 表现出来 (Benedek & Neubauer, 2013; Beaty, et al., 2014)。因此，语义距离是帮助我们理解创造性思维和创造性认知过程的重要手段。

近年来快速发展的网络科学 (Network Science) 为研究人类的复杂认知系统提供了一套可靠且有效的定量研究方法 (Baronchell et al., 2013; Siew et al., 2019)。在认知科学领域，通常利用心理词汇 (Mental Lexicon) 所构成的语义网络 (Semantic Network) 来表征语义记忆结构 (Christensen & Kenett, 2021)。在语义网络中，概念被表示为通过“边 (edge)”相互连结的“节点 (node)”，语义距离则用来表示概念与概念之间的距离，即语义相似性 (Paulsen et al., 1996)。将语义网络应用于创造性思维领域的研究表明，研究语义网络的特性是探索创造性思维的一种有前景的方法 (Kenett et al., 2018)，但是如何有效整合语义网络及语义距离来揭示创造性思维过程还有待研究者们进一步探讨 (Kenett & Faust, 2014)。

同时，在实证研究中研究者们常用发散思维测验 (Divergent Thinking Test) 来衡量创造性思维，但发散思维测验自身存在着一些不足，如流畅性和独特性有较高程度的相关致使得分极易混淆、独特性评分依赖于样本等问题 (Silvia et al., 2008)。因此，除了对原有测量技术的优化和改进，还需要提升创造力测量的客观性和准确性。目前已有学者提出使用语义距离来测量创造性思维，但是使用语义距离测量创造性思维这一方法的有效性还存在着争议 (Marron et al., 2018; Wang et al., 2018)。

因此，在创造性思维研究中使用语义距离作为量化创造性思维过程的指标，探讨创造性思维的认知神经机制，并开发基于语义距离的创造性评估和提升手段等就具有重要的领域前沿性和开创性。

综上，本研究通过元分析的方法，旨在厘清语义距离与创造性思维之间的关系，以期为探究个体联想能力与创造性思维关系的研究引入新的测量方法，也为创造性思维过程的研究以及语义记忆结构与创造性思维的关系研究奠定更加坚实的理论基础。

1.1 创造性思维及其测量

创造力 (creativity) 是指产生新颖 (originality) 且适宜 (appropriateness) 产品的能力 (Kaufman & Sternberg, 2010; Runco, 2002)。作为创造力研究和实践应用基础的创造性思维测量，也一直受到研究者们的高度重视 (贡喆 等, 2016; 徐雪芬, 辛涛, 2013)。

发散思维 (Divergent Thinking) 是个体针对给定问题或提示产生多个原创想法的心理能力 (Acar & Runco, 2019; Forthmann, Wilken, et al., 2019)，长期以来一直是创造性思维研究中的一个重要内容 (Hocevar, 1980)。发散思维测验是迄今为止创造力研究中使用最多、应用最为广泛的主流测验形式 (Plucker & Makel, 2010; Reiter-Palmon et al., 2019)。在以往研究中，Guilford (1950) 的多用途任务 (Alternate Use Task, AUT) 和 Torrance (1972) 的创造性思维测试 (Torrance Tests of Creative Thinking, TTCT) 使用频率较高。发散性思维通常包括四个维度，即流畅性、灵活性、独特性和精致性。其中，流畅性 (fluency) 指给出的想法或解决方案的数量；灵活性 (flexibility) 指想法的多样性；独特性 (originality) 指想法的不寻常或唯一性；精致性 (elaboration) 指给出想法或答案的详细程度 (Torrance, 1965, 1988)。在评分时，发散思维测验也常从这四个维度来计分，并由此衡量被试答案的创造性水平。

该类广泛使用的发散思维测验虽有其优势，但仍存在一些潜在问题。首先，发散思维测验不能为研究者提供进一步探讨创造性思维过程的手段 (Hass, 2017; Marron et al., 2018)。其次，在该类测验的四个主要的评价指标中，除了流畅性能够被客观测量，灵活性、独特性和精致性的传统评分方法均存在一定弊端，如可能产生积极偏见 (positive bias) 使得某被试的创造性得分远高于其真实水平，或因评分者的不同评分标准而引入更多误差 (Bossomaier et al., 2009; Lee, 2008)。第三，在发散思维测验计分时，流畅性和独特性的得分会出现混淆，独特性的得分有较大可能性会随着流畅性得分的增加而增加 (Clark & Mirels, 1970; Hocevar & Michael, 1979; Silvia, 2015; Silvia et al., 2008)，或者随着被试量的增加而降低 (Silvia, 2015)。由于以上三点，发散思维测验的客观性、信度、效度以及常模问题都饱受争议 (Benedek & Neubauer, 2012)。

综上所述，为了更进一步探索创造性思维的内涵、机制及其与各因素之间的相互作用，就需要一种新的创造性思维测量技术，它既可以用于探究创造性思维过程，也能够更加客观、高效地量化创造性思维的产物。使用语义距离测量创造性思维或改进创造性思维的计分方法便是一种能满足上述条件的潜在方法。

1.2 语义距离与创造性思维的关系

语义距离这个概念来源于 Collins 和 Loftus (1975) 提出的扩散激活模型 (Spreading-Activation Model)。在概念与概念之间，共同的定义性特征越多，它们之间的关系就越近，这个关系就称为语义距离 (Volle, 2018)。例如，“雪”和“白”经常共同出现在文本中，所以语义距离较小；相反，“雪”和“石油”很少同时出现，因此二者之间具有较大的语义距离。

Mednick 在 1962 年提出了创造力联想理论 (the Associative Theory of Creativity)，该理

论解释了创造性思维与语义记忆结构之间的关系 (Mednick, 1962)。该理论认为，创造性思维涉及将弱相关或远距离概念联接成新颖且有用的概念的认知过程。如果某些概念在语义层面相距越远，由它们所产生的新的组合就越有创意，新颖度越高。

Benedek 等人 (2012) 在 Mednick (1962) 的理论基础上提出，解离能力 (dissociative ability) 和联想整合能力 (associative combination ability) 是与创造性思维密切相关的基本认知能力。解离能力是指生成不相关的概念的能力，也可以被理解为一种语义抑制能力，它有助于人们获得新的语义距离遥远的概念。联想整合能力指的是对看似不相关的概念形成合理联想的能力。据此我们可以推断，语义距离作为概念与概念之间关系的量化指标 (Volle, 2018)，也即衡量个体联想能力的指标，可以有效反映个体以联想过程为基础的创造性思维。扩散激活模型也提到，有创造力的人拥有更加复杂 (Collins & Loftus, 1975; Gruszka & Necka, 2002; Kenett, 2019)、更加灵活的语义网络 (Schilling, 2005)。

近年来语义距离也开始作为测量创造性表现的指标。研究者们 (Green et al., 2012; Prabhakaran et al., 2013; Weinberger et al., 2016) 在探究状态创造力 (state creativity) 时，通常将语义距离作为创造力水平高低的测量指标。状态创造力即被试在不同指导语或线索提示下所表现出的不同创造力水平。也有研究利用语义距离来测量创造性思维，结果显示相比较传统测量方法，基于语义距离的测量方法在创造性思维各指标间有着更好的区分效度和结构信度 (Dumas & Dunbar, 2014)。

此外，通过对语义距离的应用，研究者能够对创造性思维的质量有更为客观的认识，从而更好地探讨创造性思维的认知神经机制。人们普遍认为，创造性思维认知过程需要联想过程 (associative processes) 与执行过程 (executive processes) 的耦合 (Silvia et al., 2013)。目前，大多数创造性思维任务并未区分这两种认知过程 (Mednick, 1968; Runco et al., 2016)，而对这两种认知过程的细分有助于我们更深入地理解创造性思维和创造性认知过程 (Fox et al., 2015)。而语义距离作为联想能力的衡量指标，可以更好地反映出个体在进行创造性思维任务时的联想过程 (Beaty, Nusbaum, et al., 2014; Beaty, Silvia, et al., 2014; Marron et al., 2018)。因此，语义距离也被用来作为认知神经科学研究中创造性思维的测量指标，它不仅可以用于比较个体在产生不同创造性水平的答案时其大脑激活模式的差异 (Beaty et al., 2017; Green et al., 2015; Tempest & Radel, 2019) 及个体的创造性表现随时间的动态变化 (Green, 2016)，还可以用来研究不同个体之间的创造力水平差异 (Green, 2016)。

除了从语义网络角度、使用语义距离来测量创造力之外，语义距离也被用来改进传统的创造性思维测验 (如 AUT) 的评分方法 (Volle, 2018)。语义距离不仅可以用来量化发散性思维任务的得分，避免独创性和灵活性得分的混淆 (Acar & Runco, 2015)，还可以用来表征

创造性思维的某一维度，如灵活性 (Johnson et al., 2019) 和独创性 (Beaty et al., 2020)。众多研究者认为这一基于语料库的计算模型和自动化的计分方法有效规避了评价者编码的主观性，提高了评分的标准化和客观化，而且也极大地节省了时间和人力成本并提高了评分效率 (Acar & Runco, 2015; Beaty & Johnson, 2020; Johnson et al., 2019)。

尽管许多研究都支持创造力与语义距离之间存在相关性，然而也有部分研究未能得到相同结论。早在 1973 年就有研究者发现，虽然与创造力较低的个体相比，创造力较高的个体在自由联想任务中的回答速度更快，但是促使高创造力个体生成新颖的词汇或词汇联结的能力不一定与创造力有关 (Rothenberg, 1973)。之后，Benedek 和 Neubauer (2013) 在验证创造力联想理论时发现，词汇与词汇之间产生关联的概率并不能区分创造力高的个体和创造力低的个体。创造力水平高的人在联想过程中并不一定有着较大的语义距离 (Marron & Faust, 2018)。近些年来也有研究者在研究中得到了更直接的证据，他们发现，语义距离与创造性思维之间没有显著相关 (Marron et al., 2018; Wang et al., 2018)。

综上，创造力联想理论获得了众多研究证据的支持 (Benedek et al., 2012; Kenett et al., 2014; Kleinmintz et al., 2019; Rossmann & Fink, 2010)，但部分研究也发现语义距离与创造性思维之间并无显著相关 (Marron et al., 2018; Wang et al., 2018)。因此，语义距离作为概念与概念之间关系的量化指标是否可以有效反映个体的创造性思维仍有待于进一步的探讨和验证。

1.3 语义距离与创造性思维关系的调节变量

近几年，国内外开展了一些语义距离与创造性思维关系的研究，但是研究结果却不尽相同。这可能与研究对象的人口学因素 (年龄) 和评估创造性思维时所使用的测量指标有关。

根据已有研究，年龄可能会影响语义距离与创造性思维之间的关系。首先，年龄与语言能力和词汇量有关。老年人的词汇量及语义知识存储与年轻人相比更加丰富 (Kavé & Halamish, 2015; Verhaeghen & Paul, 2003)，而语言能力较强、词汇量较多的个体在表达想法时更不容易受到表达能力的限制，因此往往在言语创造性任务中表现得更好。语言能力较强的个体也可能会有更多的认知资源用来产生创造性想法 (Wu et al., 2005)。其次，不同年龄被试的语义结构和语义记忆也是不同的，例如，老年人语义记忆中的概念更加模块化，也更分散 (Dubossarsky et al., 2017; Wulff et al., 2019; Zortea et al., 2014)。换而言之，与年轻人相比，老年人的语义网络结构更加稀疏。这意味着在年长者的语义网络中，概念之间的连结更少且语义距离更远。Dubossarsky 等人 (2017) 进一步评估了语义网络在个体整个生命周期 (10~84 岁) 中的差异。结果发现，在整个生命周期中，语义记忆的发展是非线性的。例如，儿童的语义结构较为稀疏，到中年时密度增加，然后在老年时又变得越来越稀疏。

由此可见，与老年人相比，年轻人基于语义记忆的语义网络更加灵活，而更加灵活的语义网络则往往意味着更高的创造性思维能力 (Kenett et al., 2014; Rossmann & Fink, 2010)。同样的，也有研究发现随着年龄的增长，个体的创造性思维水平在逐渐下降 (Leon et al., 2019; Simon & Bock, 2016; Zhang. & Niu, 2013)。因此，样本群体的年龄可能会影响语义距离与创造性思维之间的关系。

此外，由于创造性思维的测量指标存在多样性，因此研究中所使用的创造性思维测量指标可能会影响语义距离与创造性思维之间的关系。语义距离能够从整体上反映创造性思维的同时，对其不同的测量指标 (独创性、流畅性、精致性和灵活性) 的预测效果可能不尽相同。Forster 和 Dunbar (2009) 在研究中发现基于语义距离分析得到的独创性分数比其他常用的创造性思维测量指标 (流畅性、灵活性和精致性) 更能预测个体的创新能力。灵活性与个体在解决问题时转换视角的能力有关，它使个体在解决问题时避免循规蹈矩，这有利于创造性地解决问题。Beketayev 和 Runco (2016) 发现基于语义算法 (Semantic-Based Algorithm, SBA) 得到的分数与创造性思维测验中依照传统计分方法得到的灵活性分数显著相关。精致性同样也是创造性思维的一个测量指标，它代表着创造性想法的实用性或适用性。Runco 和 Pritzker (1999) 提出，对创造性想法进行细化和改进可以提高创意的质量。然而对于语义距离来说，由于被试在进行创造性思维任务时所提出的答案可能具有不同的详细程度 (即它们的精细化程度不同)，基于语义距离的评分可能会受到这些差异的影响 (Forthmann, Oyebade, et al., 2019)。

综上所述，以往研究的争议主要在于语义距离是否能够有效地衡量创造性思维，且以往研究对潜在影响因素的探讨尚不全面。鉴于如何更好地测量创造性思维是创造力研究和实践应用的基础，所以语义距离与创造性思维之间存在何种关系，对于创造性思维的测量与评估以及创造性思维的发展和培养有着重要的参考价值，但目前尚未有研究从整合的视角对此予以探讨和澄清。因此，本研究采用元分析的方法对语义距离与创造性思维的关系进行全面系统的探讨，并对二者关系中可能存在的调节变量进行探究。在理论上，这将有利于初步厘清已有研究间的争议，有助于我们更完整、准确地把握两者的关系，为创造性思维理论的发展与整合提供科学依据，为未来相关研究提供参考，对创造性思维测量领域的研究也是一种有益补充。在实践上，这也将有助于揭示语义距离与创造性思维存在联系的具体条件，能为创造性思维的评估提供新的思路，为创造性思维的有效提升和创新型人才的培养提供更有针对性、更精准的个性化培养方案和干预措施。

2 方法

2.1 文献检索

本研究全面检索了 2021 年 10 月以前涉及到语义距离与创造性思维二者关系的中文和英文文献，2021 年 12 月进行了二次更新。中文文献检索的数据库包括：中国知网(CNKI)、万方数据知识服务平台、维普中文期刊服务平台、中国博士学位论文全文数据库和中国优秀硕士学位论文全文数据库，以“语义距离”、“语义网络”、“潜在语义分析”、“创造力”、“创造性思维”、“创造力测量”、“发散思维”、“发散思维测量”等为关键词组合进行检索。英文文献检索的数据库包括：Springer Link、Science Direct、Wiley Online Library、ProQuest、Google Scholar、Web of Science，以“semantic distance”、“LSA”、“creativity”、“innovation”、“divergent thinking”、“semantic networks”、“semantic”等为关键词组合进行检索。同时用文献回溯法，追踪了所有纳入本研究的文献、其他相关的综述论文和实证论文的参考文献进行补充，以确保没有遗漏相关文献。初步检索之后共得到相关文献 141 篇。

2.2 文献纳入与排除标准

将获得的文献按照以下标准进行筛选 (如图 1)：(1) 研究必须是考察了语义距离与创造性思维关系的实证研究，排除纯理论探讨和文献综述类文章。(2) 数据资料完整，样本量大小明确。(3) 探讨了语义距离与创造性思维之间的关系，并明确报告了相关系数或可转换的统计量 (r 值或能转化为 r 值的 F 值、t 值或 $\chi 2$ 值)，不包括运用结构方程模型、回归分析及其它统计方法获得的数据；(4) 文献中所涉及的数据不重复使用，如使用同一批数据多次发表的文献，则只统计一次。最终获得满足元分析标准的文献 14 篇，共 53 个独立效应值，4729 个样本。

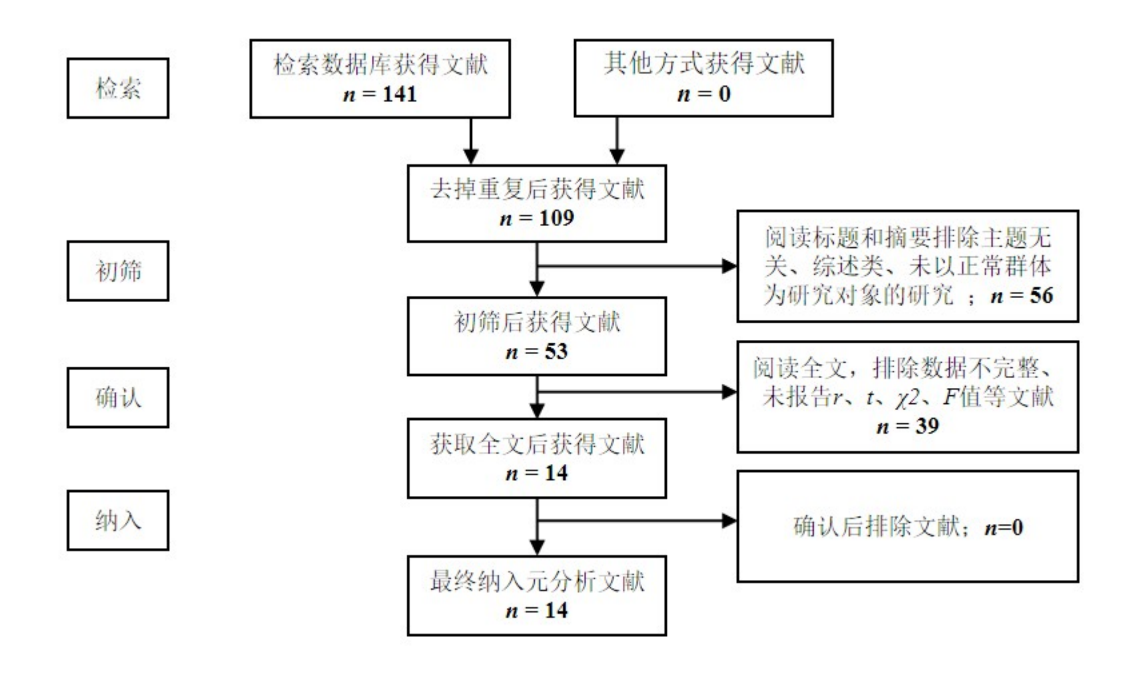


图 1 文献检索与筛选流程图

2.3 文献质量评估

根据张亚利等人 (2019) 制定的标准对纳入元分析的文献进行质量评估，其中包括被试的选取、数据有效率、测量工具的内部一致性信度和刊物级别等。文献质量评估过程由两位评分者独立完成。两位评分者编码完成后计算得到的评价者一致性 Kappa 值为 0.946。根据 Kappa 值的判断标准：0.40~0.59 之间为评价者一致性好，在 0.60~0.74 之间为评价者一致性相当好，0.75 及以上为评价者一致性非常好 (Orwin & Vevea, 1994)，本研究中两名评分者的评分一致性达到了较高水平。

2.4 文献特征编码

对纳入元分析的文献进行如下编码 (如表 1)：文献信息 (作者名、发表年份)、样本量、被试平均年龄、效应值 *Zr* 和创造性思维测量指标 (流畅性、灵活性、精致性、独创性)。

效应值的提取遵循以下标准：(1) 独立样本编码一次，若一篇论文同时报告了多个独立样本，则分开编码。(2) 如果一个独立样本有两个统计指标，则选取保守 (相对不显著) 的统计指标。(3) 依据统计正态分布的原则将相关系数转化得到 Fisher *Z* 值。(4) 数据重复发表的只取其一。两名编码者依据文献纳入和排除标准进行独立编码，两位编码者的编码一致性为 95.2%，说明文献编码是较有效而且准确的。

表 1 纳入元分析的原始研究的基本资料

	被试群体	样本量	平均年龄	效应值	测量指标
Gray et al.., 2019(A)	演员	30	41.03	$r = 0.46$	总分

Gray et al.., 2019(B)	大学生	211	19.76	r = 0.24	总分
Gray et al.., 2019(C)	美国代表样本	517	15.69	r = 0.12	总分
Gray et al.., 2019(D)	表演系 非表演系学生	167	19.44	t = 3.49	总分
Gray et al.., 2019(E)	专业演员 互联网工作者	104	38.89 32.88	t = 4.34	总分
Gray et al.., 2019(F)	职业企业家 会计	296	54.53 50.73	t = 3.70	总分
Gray et al.., 2019(G)	随机被试	1397	-	r = 0.19	总分
Gray et al.., 2019(H)	推特上知名人士	95	-	r = 0.22	总分
Prabhakaran et al.., 2013(A)	大学生	183	22.1	r = 0.47	总分
Prabhakaran et al.., 2013(B)	大学生	183	22.1	r = 0.43	流畅性
Prabhakaran et al.., 2013(C)	大学生	183	22.1	r = 0.42	灵活性
Prabhakaran et al.., 2013(D)	大学生	183	22.1	r = 0.48	独创性
Prabhakaran et al.., 2013(E)	大学生	183	22.1	r = 0.40	总分
Prabhakaran et al.., 2013(F)	大学生	183	22.1	r = 0.18	总分
Forthmann et al.., 2018(A)	青少年	29	14.47	r = 0.699	流畅性
Forthmann et al.., 2018(B)	青少年	29	14.47	r = 0.789	流畅性
Forthmann et al.., 2018(C)	青少年	29	14.47	r = 0.648	总分
Forthmann et al.., 2018(D)	青少年	29	14.47	r = 0.417	总分
Forthmann et al.., 2018(E)	青少年	29	14.47	r = 0.562	总分
Forthmann et al.., 2018(F)	青少年	29	14.47	r = 0.462	总分
Beketayev & Runco, 2016(A)	网络随机	250	33.65	r = 0.74	灵活性
Beketayev & Runco, 2016(B)	网络随机	250	33.65	r = 0.36	独创性
Forster & Dunbar, 2009(A)	大学生	61	18.75	r = 0.417	流畅性
Forster & Dunbar, 2009(B)	大学生	61	18.75	r = 0.66	流畅性
Forster & Dunbar, 2009(C)	大学生	61	18.75	r = 0.31	流畅性
Forster & Dunbar, 2009(D)	大学生	61	18.75	r = −0.42	精致性
Forster & Dunbar, 2009(E)	大学生	61	18.75	r = −0.46	精致性
Forster & Dunbar, 2009(F)	大学生	61	18.75	r = −0.60	精致性
Forster & Dunbar, 2009(G)	大学生	61	18.75	r = −0.63	精致性
Hass, 2017	大学生	226	-	r = 0.40	总分
Heinen & Johnson, 2018(A)	网络随机	62	37	r = 0.47	总分
Heinen & Johnson, 2018(B)	网络随机	121	37	r = 0.77	总分
Acar & Runco, 2014(A)	大学生	54	26.28	r = 0.29	流畅性
Acar & Runco, 2014(B)	大学生	54	26.28	r = 0.28	流畅性
Acar & Runco, 2014(C)	大学生	54	26.28	r = 0.27	总分
Acar & Runco, 2014(D)	大学生	54	26.28	r = 0.35	总分
Acar & Runco, 2014(E)	大学生	54	26.28	r = 0.31	总分
Mathias & Kenett, 2017(A)	大学生	89	25	r = 0.21	流畅性
Mathias & Kenett, 2017(B)	大学生	89	25	r = 0.41	总分
Mathias & Kenett, 2017(C)	大学生	89	25	r = 0.37	流畅性
Mathias & Kenett, 2017(D)	大学生	89	25	r = 0.24	总分
Rossmann & Fink, 2010	大学生	106	23.03	r = 0.22	独创性
Tempest & Rémi, 2019(A)	德语系大学生	29	22.9	r = 0.524	流畅性
Tempest & Rémi, 2019(B)	德语系大学生	29	22.9	r = 0.468	灵活性
Tempest & Rémi, 2019(C)	德语系大学生	29	22.9	r = 0.449	流畅性
Tempest & Rémi, 2019(D)	德语系大学生	29	22.9	r = 0.406	灵活性
Tempest & Rémi, 2019(E)	德语系大学生	29	22.9	r = 0.609	总分
Beaty & Johnson, 2020(A)	大学生	171	22.63	r = 0.91	总分
Beaty & Johnson, 2020(B)	大学生	142	19.60	r = 0.75	总分
Cheng Liu，2021E1	大学生	189	19.30	r = 0.205	灵活性
Cheng Liu，2021E2	大学生	189	19.30	r = 0.211	独创性
Cheng Liu，2021E3	大学生	189	19.30	r = 0.203	总分
Samuel Murray，2021	网络随机	200	40.24	r = 0.290	总分

注：(1) 为节省篇幅大部分文献只列出了第一作者；(2) 同一研究的多个独立研究用字母表示区分。

2.5 数据处理与分析

本研究采用 Comprehensive Meta-Analysis 3.0 (CMA3.0) 进行相应的数据处理和分析。首先，采用 Q 检验和 I^2 检验进行异质性检验 (Heterogeneity test)，根据异质性检验结果验证所选元分析模型的合理性，其 Q 检验的公式为：，，其中 Z_{ri} 为第 i 个效应值，SE 为平均效应值 (Borenstein et al., 2010)。第二步，运用选定的模型计算、合并效应值。第三步，进行包括亚组分析和元回归分析在内的调节效应检验，若调节效应不显著则使用 JASP 软件进行贝叶斯因子估计，以进一步检验结果是否支持零假设。最后，再运用漏斗图 (Funnel Plot)，失安全系数 (Fail-safe Number, Nfs; Viechtbauer, 2007)、和 Egger's 回归检验 (Egger's regression intercept; Egger et al., 1997) 等方法进行发表偏倚检验。

2.5.1 效应值

元分析以语义距离与创造性思维之间的相关系数 (r) 作为效应值。如果在编码过程中一些文献没有直接报告语义距离与创造性思维之间的相关系数，而是报告了 F 值、t 值或 χ^2 值，则利用 CMA3.0 软件将上述效应值进行计算、合成，从而得到相关系数。

2.5.2 模型选定

随机效应模型 (Random Effect Model) 和固定效应模型 (Fixed Effect Model) 常被用来进行元分析。固定效应模型假设元分析中所有研究间只存在同一个效应值，观察到的效应值之间的差异均归因于随机误差。而在随机效应模型下，不同研究可能有不同的效应值 (Kisamore & Brannick, 2008)。例如，参与者年龄更大，受教育程度更高或更健康的研究，或者使用干预措施的强度更大的研究，其效应值可能更高 (或更低) (Borenstein et al., 2010; Nikolakopoulou et al., 2014)。具体来说，如果元分析的总效应量只针对自变量和因变量之间的关系，不考虑其他变量在其中的作用，应使用固定效应模型；而如果研究中的被试特征测量工具、实验范式等会影响最终的研究结果，此时使用随机效应模型较为合理 (Borenstein et al., 2010)。在本研究中，被试年龄与创造性思维测量指标或可对语义距离与创造性思维之间的关系产生影响，因此选用随机效应模型进行分析，同时通过异质性检验来评估所选取模型的可靠性 (Nikolakopoulou et al., 2014)。

3 结果

3.1 异质性检验

效应值异质性检验结果如表 2 所示，结果表明 Q 值为 667.359 ($p < 0.001$)，说明效应值的异质性较大，本研究适合选择随机效应模型来合并效应值 (Nikolakopoulou et al., 2014)。为了弥补 Q 检验无法评定异质性程度的缺陷，同时采用了 I^2 检验。Higgins 等人 (2003) 认

为，当 I^2 为 25%、50%和 75%时，分别表示研究间存在低异质性、中等异质性及高等异质性。本研究中，I^2 为 92.21，说明由效应值的真实差异造成的变异量占总变异 92.21%，研究间具有高异质性，与前面 Q 检验结果基本相吻合。*Tau-squared* 值为 0.092，说明研究间总体效应值的变异有 9.2%可用于计算权重。同时，上述结果也提示，在语义距离和创造性思维之间可能存在调节变量，因此有必要进一步分析调节变量对两者间关系的影响。

表 2 异质性检验结果

模型	独立样本	异质性				Tau-squared			
		Q	*df*（*Q*）	*p*	I-squared	Tau-squared	SE	方差(Variance)	Tau
随机效应	53	667.359	52	0.000	92.208	0.092	0.032	0.001	0.304

3.2 发表偏倚检验

3.2.1 漏斗图

本研究首先采用漏斗图来检验发表偏倚。从图 2 中可知，语义距离与创造性思维总分及其各维度关系的研究基本呈对称分布，且集中在中上部，表明语义距离与创造性思维及其各维度指标的研究结果不存在严重的发表偏倚 (Light & Pillemer, 1984)。但为了克服视觉不对称性评估的主观性，我们还需要通过使用 Egger's 回归 (Egger et al., 1997; Macaskill et al., 2010) 或失安全系数法 (Rosenthal & Robert, 1979) 对发表偏倚进行进一步的检验 (Terrin et al., 2005)。

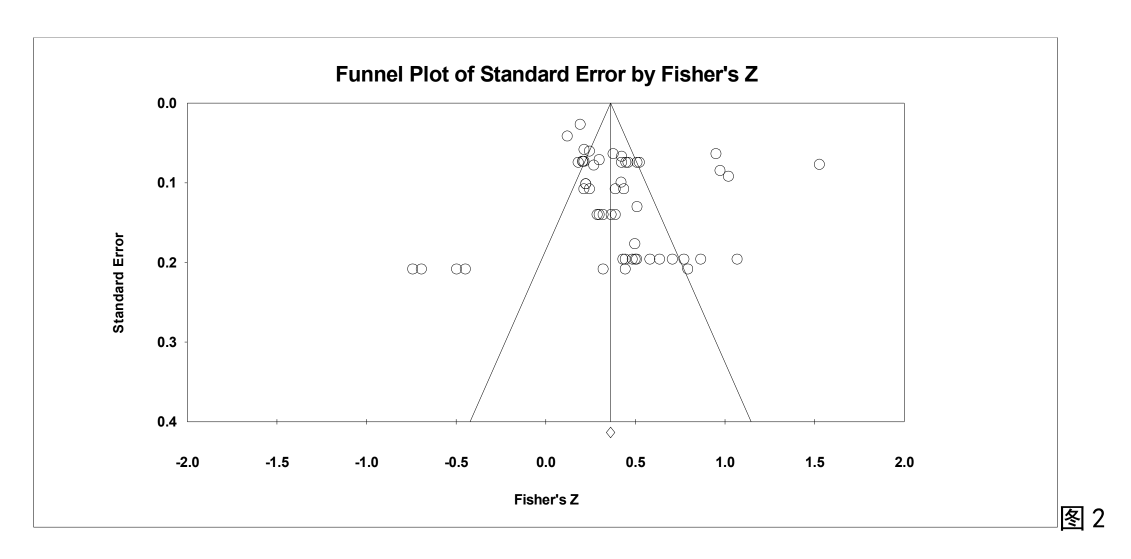


图 2

各效应值分布的漏斗图

3.2.2 Egger's 回归检验

Egger's 回归检验的基本流程是：以标准化的效应尺度为因变量和以效应估计量的精度为自变量建立线性回归方程。如果回归方程的截距接近 0，则认为发表偏倚较小；若截距等于 0，即认为不存在“发表偏倚” (Egger et al., 1997)。截距是否等于 0 可通过 Egger's 回归截距假设检验来判断。Egger's 检验显示，截距为 1.249，$p = 0.205 > 0.05$，表明研究结果受到来自出版偏倚影响的可能性很小。

3.2.3 失安全系数法

失安全系数表示最少需要多少个未发表的研究才能使元分析的结果逆转 (Rosenthal & Robert, 1979)。当该系数大于 $5K + 10$ (K 为纳入元分析效应量的数量，此处 $K = 53$) 时，说明不存在显著的发表偏差 (Hoeve et al., 2012)。本研究的失安全系数为 1269，远高于临界值 275。此结果说明，语义距离与创造性思维及其各维度之间的关系的研究结果准确、可靠，本研究存在发表偏倚的可能性较小。

3.3 敏感性分析

异质性检验表明，各研究之间的效应值均呈高异质性。依据漏斗图及效应值的偏离情况，运用逐步删除法 (e.g., Li et al., 2016; Liu et al., 2020; Sun et al., 2020)，对语义距离与创造性思维关系的异质性效应值进行敏感性分析。许多元分析研究使用敏感性分析来评估结果的稳健性和可靠性 (e.g., Greenhouse & Iyengar, 2009; Han et al., 2020)。使用 CMA3.0 中“one study removed” 功能进行敏感性分析发现，排除任意一个样本后，语义距离与创造性思维之间的效应值始终在 0.365~0.400 间浮动，说明元分析结果具有较高的稳定性。

3.4 主效应检验

由于各研究之间的异质性较高，采用随机效应模型进行主效应分析 (Kisamore & Brannick, 2008)，结果显示语义距离与创造性思维的相关系数为 0.379 (95%CI [0.300, 0.452], $Z = 8.745$, $p < 0.001$) (见表 3), 二者之间呈显著的中等程度 (Cohen, 1988) 的正相关关系。

表 3 主效应检验结果

模型	独立样本	*N*	*r*	95%CI		双尾检验	
				lower limit	upper limit	*Z*	*p*
随机效应	53	4729	0.379	0.300	0.452	8.745	0.000

3.5 调节效应检验

本研究对类别变量采用亚组分析，而对连续变量则采用元回归分析。

3.5.1 被试年龄的调节作用

利用元回归分析检验被试平均年龄对语义距离与创造性思维之间的关系是否有显著影响，结果发现被试平均年龄的调节效应显著 ($B = –0.0050$, $Z = –3.84$, 95%CI [–0.0077, –0.0024])。

3.5.2 创造性思维测量指标的调节作用

纳入元分析的文献中创造性思维的测量指标包括各分维度 (流畅性、灵活性、独创性和精致性) 及其加和总分。调节效应检验结果表明，创造性思维总分及其各分维度对语义距离与创造性思维关系的调节作用显著 ($Qb = 89.380$, $p < 0.001$) (见表 4)。其中，语义距离与创造性思维的流畅性、灵活性、独创性维度呈显著正相关；与创造性思维的精致性维度呈显著负相关。随后，对语义距离和创造性思维各测量指标的相关系数进行异质性检验，结果表明，语义距离与灵活性的相关系数 ($Qw = 63.436$, $p < 0.001$)、与独创性的相关系数 ($Qw = 10.542$, $p = 0.014$) 和与流畅性的相关系数 ($Qw = 25.666$, $p = 0.007$) 存在着显著的异质性，而语义距离与精致性的相关系数的异质性检验结果不显著，说明精致性组内数据具有较高同质性和可合并性。

表 4 创造性思维测量指标的调节效应

调节变量	类别	*k*	*r*	95%CI	*Qw*	*Qb*	*p*
创造性思维测量指标	总分	28	0.430***	0.326, 0.523	447.369***		

流畅性	12	0.447***	0.338, 0.545	25.66**		
灵活性	5	0.473**	0.180, 0.688	63.436***	89.380	0.000
精致性	4	− 0.533***	− 0.664, −0.372	1.433		
独创性	4	0.328***	0.197, 0.447	10.542*		

注：$^{***}p < 0.001$, $^{**}p < 0.01$, $^{*}p < 0.05$

4 讨论

4.1 语义距离测量创造性思维的有效性

本研究结果显示，语义距离与创造性思维呈显著正相关 ($r = 0.379$, $p < 0.001$)，与以往研究结果一致 (Hass, 2017; Heinen & Johnson, 2018)。该结果进一步验证了 Mednick (1962) 提出的创造力联想理论，即如果某些概念在语义层面相距越远，由它们所产生的新的组合就越有创意，新颖性越高。而语义距离对不同概念间关系的量化能够有效反映被试的联想能力 (Benedek & Neubauer, 2013)。以 Prabhakaran 等人 (2013) 的研究为例，在对状态创造力的探讨中，研究者要求被试根据提示产生富有创造性的抑或是非创造性的联想。结果发现，提示所产生的状态创造力的差异能够清晰地体现在语义距离的变化上。Gray 等人 (2019) 也应用语义距离对被试的联想能力进行了有效量化，并以此成功地预测了被试的创造性表现。同时，本研究纳入元分析的文献对创造性思维的测量主要是通过经典的发散思维任务实现的。如前文所述，发散思维任务要求被试对某个常见物品，思考其非常规的、新颖的用途，而这一任务对联想能力的要求在大量研究中被证实 (Hass, 2017; Marron et al., 2018; Wang et al., 2018)。实际上，独创性作为发散思维任务的评价指标之一，以往研究主要依赖于单个答案出现在所有答案中的概率来计算 (Acar & Runco, 2015)。这一评分过程实际上与语义距离的计算逻辑类似，但语义距离的客观性优于前者。具体来说，以概率量化的方法依赖于已有的答案库，而不同的研究往往有着不同的答案库，因此同一个答案在不同的答案库中可能会因为被试群体、文化等因素有不同的出现频率。而语义距离则是通过统一的语料库对发散思维任务的答案进行量化，尽管语料库和算法可能会影响具体的计算结果，但是结果的可推广性和客观性相较于前者有着较大的提升 (Acar & Runco, 2019)。综上所述，结合目前的研究结果，在理论层面上，语义距离能够有效反映创造性思维的核心成分——联想能力；在操作层面上，语义距离对独创性的量化测量是对传统的测量方法的改进。

此外，脑影像学的研究也为语义距离与创造性思维的关系提供了间接证据。从脑网络的角度来看，创造性思维与默认模式网络 (default mode network; DMN) 和执行控制网络

(executive control network; ECN) 相关脑区的神经活动关系密切 (Beaty et al., 2015)。其中，默认模式网络的部分核心脑区与语义记忆和情景记忆有关 (Marron & Faust, 2018)。执行控制网络可以对常见且无创造性的反应进行抑制，这有助于获得更多远程关联的概念 (Benedek & Neubauer, 2013)。从具体脑区来看，创造性思维的神经活动标志之一是左侧额下回 (inferior frontal gyrus, IFG) 的激活 (详见 Chen et al., 2020)，研究者们认为左侧额下回主要在创造性思维过程中支持语义记忆的检索 (Badre & Wagner, 2007; Chen et al., 2021) 及远距离联想的产生等认知活动 (Ralph et al., 2017)。Green 等人 (2015) 也发现，额极 (frontopolar cortex) 的激活不仅与创造性表现有着密切的关系，也是感知语义距离的关键脑区 (Green et al., 2012)。

上述研究表明，语义距离相关的认知神经活动与创造性思维潜在的脑机制有着一定的相似之处。同时，语义距离作为一种连续变量，可以更精准地反映出创造性思维的定量变化，而不仅仅是二元对比 (例如，创造性与非创造性条件) (Kenett, 2018; Kenett, 2019; Kenett et al., 2017)。因此，语义距离具有测量创造性思维的独特优势，也比传统的创造性思维测量方法更适合神经影像学的研究 (Green, 2016)。

然而，本研究发现，语义距离与创造性思维关系的效应值为 0.379，仍处于中等程度 (Cohen, 1988)。这说明尽管使用语义距离测量创造性思维有一定的有效性，但是语义距离对创造性思维的代表程度有限。这可能有几方面的原因。首先，语义距离是以文字为基础的测量指标，其与非文字的创造性思维测验结果的关系并不密切 (Green et al., 2015)。其次，创造性思维不仅包括自下而上的联想过程，还包括自上而下的执行控制过程 (Benedek et al., 2017)。但语义距离主要与个体的自由联想过程有关，这就

可避免地造成了对执行控制过程的探讨不足 (Marron et al., 2018)，从而在一定程度上降低了语义距离对创造性思维的解释力。第三，创造性思维受个体联想能力影响的同时，也受到个体信息检索能力的影响 (Kenett et al., 2014)。单独应用语义距离来探究个体的创造性思维时，其预测力可能有限。因此，使用这一客观化的新指标来表征创造性思维仍有待于进一步的理论和实证探讨。

4.2 语义距离与创造性思维关系中存在的调节效应

本研究发现，被试年龄对语义距离与创造性思维的关系具有显著的调节作用。这说明两者的关系在不同年龄段群体中不尽相同。具体而言，二者的相关性随着年龄的增加而逐渐降低。原因可能在于，随着年龄的增长，个体的语义记忆结构和知识储备也在逐渐发生改变，从而影响了语义距离与创造性思维的关系。首先是语义记忆结构的变化。个体的语义记忆结构会随着年龄的增长而逐渐变得稀疏 (Dubossarsky et al., 2017; Wulff et al., 2019;

Zortea et al., 2014)。这会导致中老年被试的答案与题目的语义距离较小。此时，语义距离与创造性思维的相关程度有所降低，语义距离不能完全代表其自身的创造性思维水平。其次是个体的知识储备和生活经验的变化。常见的言语类创造性思维任务介于现实问题任务和图形任务之间，完成这类任务需要一定的知识储备 (Wu et al., 2005)。个体解决现实问题的能力会随着年龄的增加而增强 (Shimonaka & Nakazato, 2007)，但语言能力并

一定会有同步的变化模式 (Ruth & Birren, 1985)。这意味着，随着年龄的增加，被试在创造性任务中产生的新颖答案可能是源于以往的经验及自身的知识储备。因此，尽管被试的答案与题目之间呈现出较大的语义距离，但并非完全是个体的创造性思维在起作用。换言之，语义距离与创造性思维之间的相关程度会随着年龄的增加而逐渐降低。这一结果提示，未来研究可以进一步开展语义距离与创造性思维关系的纵向研究，从而验证相关结论的稳健性，并能够更有效地揭示语义距离与创造性思维的关系。

我们的元分析结果也表明，对不同的创造性思维测量指标而言，语义距离与创造性思维的相关系数不同。本研究发现，语义距离与灵活性、独创性呈显著正相关的同时，其与灵活性的相关系数较高，与独创性的相关系数较低。此外，语义距离与精致性呈显著负相关。这一结果表明，创造性思维测量指标调节了语义距离与创造性思维之间的关系。原因可能在于创造性思维不同测量指标所考察的侧重点不同。其中，语义距离与灵活性之间的相关程度最高。这可能是因为灵活性被认为是在不同领域之间切换的能力，能够改变处理问题的方式 (Guilford, 1950)。在产生想法的过程中，灵活性尤为重要，更高的灵活性意味着可能会产生更多的创造性想法 (Goncalves et al., 2013)。当具有更高灵活性的个体面对特定的词汇时，会产生更多与该特定词汇不同类别或不同用途的想法。这样便使得概念之间的关联减少，语义距离增加。此外，语义距离与精致性为中等程度的负相关。这可能是因为在涉及词汇的创造性思维任务中，每个被试的答案所使用的词汇数量不同 (即它们的精致性不同)，而基于语义距离的评分会因此受到影响。Forthmann 等人 (2018) 认为，由于语义距离得分是基于整个创造性思维任务中所产生的答案 (许多词汇组成的短语或短句) 计算而得到的，不仅仅是基于某个单独的词汇。而答案中出现的一些虚词、连词 (例如，“and”或“so”) 可能会降低整个创造性思维任务中所产生答案的语义距离，尽管被试的核心答案可能具有较大的语义距离和较高的独创性 (Dumas et al., 2020)。

4.3 研究不足与展望

以往关于语义距离与创造性思维关系的研究结果存在不一致，但尚无一个研究系统地探讨二者的关系。本研究通过元分析初步澄清了以往不同观点间的争议以及实证研究中语义距离与创造性思维各测量指标间相关程度不同的问题，发现两者之间存在中等程度的正

相关。研究结果在一定程度上支持了创造力联想理论 (Mednick, 1962)，同时也为该主题的深入研究提供了一定参考。但本研究仍存在以下几点不足之处：首先，目前关于语义距离与创造性思维关系的研究还处于起步阶段，本研究得到的样本相对较少，但仍可以为当前研究提供客观的证据支持，未来还需要基于更大样本的元分析研究。其次，可能影响二者关系的潜在变量较多，本研究根据已有的文献仅选取了两个主要的影响因素进行探究，其他可能影响二者间关联的变量暂未涉及。例如，使用不同的数据库和算法可能会对语义距离与创造性思维的关联造成影响 (Beaty & Johnson, 2020; Dumas et al., 2020)。

本研究为后续研究提供了一定的启示。首先，根据本研究的结果可知，被试的年龄及创造性思维的测量指标会对语义距离与创造性思维之间的关系产生影响，因此未来还需考虑这两个变量在二者关系中的作用。其次，仍需要更加深入地探讨并系统地归纳、总结语义距离与创造性思维的关系 (Orwig et al., 2021)，比如探讨语义距离与联想流畅性、联想灵活性、分离灵活性这些已经被证明与创造性思维紧密相关的联想能力之间的关系 (He et al., 2020) 及其认知神经机制；探讨其他高级认知功能 (如认知控制、工作记忆等) 对语义距离与创造性思维关系的影响。第三，目前较多研究集中于对一般领域创造力的考察，未来研究可以继续探讨语义距离与特殊领域创造力 (如科学创造力和艺术创造力) 的关系及其认知神经机制。最后，在研究方法层面，未来需要更加系统地探讨不同语料库及不同计算方法得出的语义距离结果与创造性思维之间的关系，以期能为创造性思维的测量提供更加坚实的理论依据。

5 研究结论

本研究采用元分析的方法发现，语义距离与创造性思维之间存在中等程度的正相关，且这一关系会受到被试年龄及创造性思维测量指标的调节。具体表现为：(1)随着被试年龄的增加，语义距离与创造性思维的相关性逐渐降低；(2)同时，相比于独创性和流畅性，灵活性与语义距离的相关性更强。此外，精致性与语义距离呈负相关。

参考文献

(

*是纳入元分析的文献)

贡喆, 刘昌, & 沈汪兵. (2016). 有关创造力测量的一些思考 心理科学进展, *24*(1), 31–45.

徐雪芬, & 辛涛. (2013). 创造力测量的研究取向和新进展 清华大学教育研究, *34*(1), 54–63.

张亚利, 李森, & 俞国良. (2019). 自尊与社交焦虑的关系:基于中国学生群体的元分析. 心理科学进展, *027*(006), 1005–1018.

吴敏, 温忠麟, & 吴艳. (2011). 心理学常用效应量的选用与分析. 心理科学进展, *19*(012), 1868–1878.

*Acar, & Runco. (2014). Assessing associative distance among ideas elicited by tests of divergent thinking. *Creativity Research Journal*, *26*(2), 229–238.

Acar, & Runco. (2015). Thinking in multiple directions: Hyperspace categories in divergent thinking. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts*, *9*(1), 41–53.

Acar, S., & Runco, M. A. (2019). Divergent thinking: New methods, recent research, and extended theory. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts*, *13*(2), 153–158.

Badre, D., & Wagner, A. D. (2007). Left ventrolateral prefrontal cortex and the cognitive control of memory. *Neuropsychologia*, *45*(13), 2883–2901.

Baronchell, Ferrer-i-Cancho, R., Pastor-Satorras, R., Chater, N., & Christiansen, M. H. (2013). Networks in cognitive science. *Trends in Cognitive Sciences*, *17*(7), 348–360.

Beaty, Benedek, M., Barry Kaufman, S., & Silvia, P. J. (2015). Default and executive network coupling supports creative idea production. *Scientific Reports*, *5*(1), 1–14.

Beaty, Christensen, A. P., Benedek, M., Silvia, P. J., & Schacter, D. L. (2017). Creative constraints: Brain activity and network dynamics underlying semantic interference during idea production. *NeuroImage*, *148*, 189–196.

Beaty, Nusbaum, & Silvia. (2014). Does insight problem solving predict real-world creativity? *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts*, *8*(3), 287–292.

Beaty, Silvia, Nusbaum, Jauk, & Benedek. (2014). The roles of associative and executive processes in creative cognition. *Memory & Cognition*, *42*(7), 1186–1197.

Beaty, R. E., Chen, Q. L., Christensen, A. P., Kenett, Y. N., Silvia, P. J., Benedek, M., & Schacter, D. L. (2020). Default network contributions to episodic and semantic processing during divergent creative thinking: A representational similarity analysis. *Neuroimage*, *209*, 116499.

*Beaty, R. E., & Johnson, D. R. (2020). Automating creativity assessment with SemDis: An open platform for computing semantic distance. *Behavior Research Methods*, 1–24.

*Beketayev, & Runco. (2016). Scoring Divergent Thinking Tests by Computer With a Semantics-Based Algorithm. *Europe's Journal of Psychology*, *12*(2), 210–220.

*Benedek, Kenett, Y. N., Umdasch, K., Anaki, D., Faust, M., & Neubauer, A. C. (2017). How semantic memory structure and intelligence contribute to creative thought: A network science approach. *Thinking & Reasoning*, *23*(2), 158–183.

Benedek, Könen, T., & Neubauer, A. C. (2012). Associative abilities underlying creativity. *Psychology*

of Aesthetics, Creativity, and the Arts, *6*(3), 273–281.

Benedek, & Neubauer. (2013). Revisiting Mednick's model on creativity-related differences in associative hierarchies. Evidence for a common path to uncommon thought. *The Journal of Creative Behavior*, *47*(4), 273–289.

Borenstein, M., Hedges, L. V., Higgins, J. P. T., & Rothstein, H. R. (2010). A basic introduction to fixed-effect and random-effects models for meta-analysis. *Research Synthesis Methods*, *1*(2), 97–111.

Bossomaier, T., Harré, M., Knittel, A., & Snyder, A. (2009). A Semantic Network Approach to the Creativity Quotient (CQ). *Creativity Research Journal*, *21*(1), 64–71.

Card, N. A. (2012). *Applied Meta-Analysis for Social Science Research*. New York, NY: Guilford Press.

Chen, L., Wu, J., Hartwigsen, G., Li, Z., Wang, P., & Feng, L. (2021). The role of a critical left fronto-temporal network with its right-hemispheric homologue in syntactic learning based on word category information. *Journal of Neurolinguistics*, *58*, 100977.

Chen, Q., Beaty, R. E., & Qiu, J. (2020). Mapping the artistic brain: Common and distinct neural activations associated with musical, drawing, and literary creativity. *Human Brain Mapping*, *41*(12), 3403–3419.

Christensen, & Kenett. (2021). Semantic network analysis (SemNA): A tutorial on preprocessing, estimating, and analyzing semantic networks. *Psychological Methods*. Advance online publication.

Clark, P. M., & Mirels, H. L. (1970). Fluency as a pervasive element in the measurement of creativity. *Journal of Educational Measurement*, *7*(2), 83–86.

Cohen, J. (1977). CHAPTER 4 - Differences between Correlation Coefficients. In J. Cohen (Ed.), *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences* (pp. 109–143). Salt Lake City, UT: Academic Press.

Collins, A. M., & Loftus, E. F. (1975). A spreading-activation theory of semantic processing. *Psychological Review*, *82*(6), 407–428.

Dubossarsky, H., De Deyne, S., & Hills, T. T. (2017). Quantifying the Structure of Free Association Networks Across the Life Span. *Developmental Psychology*, *53*(8), 1560–1570.

Dumas, & Dunbar. (2014). Understanding fluency and originality: A latent variable perspective. *Thinking Skills and Creativity*, *14*, 56–67.

Dumas, D., Organisciak, P., & Doherty, M. (2020). Measuring divergent thinking originality with human raters and text-mining models: A psychometric comparison of methods. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts*, *15*(4), 645–663.

Egger, Davey, Schneider, & Minder. (1997). Bias in meta-analysis detected by a simple,graphical test. *British Medical Journal*, *50*, 1088–1101.

*Forster, E. A., & Dunbar, K. N. (2009). Creativity evaluation through latent semantic analysis. *Proceedings of the Annual Conference of the Cognitive Science Society*, *2009*, 602–607.

*Forthmann, Oyebade, Ojo, Günther, & Holling. (2018). Application of latent semantic analysis to divergent thinking is biased by elaboration. *Journal of Creative Behavior.*, *53*(4), 559–575.

Forthmann, B., Oyebade, O., Ojo, A., Günther, F., & Holling, H. (2019). Application of latent semantic analysis to divergent thinking is biased by elaboration. *The Journal of Creative Behavior*, *53*(4), 559–575.

Forthmann, B., Wilken, A., Doebler, P., & Holling, H. (2019). Strategy induction enhances creativity in figural divergent thinking. *The Journal of Creative Behavior*, *53*, 18–29.

Fox, Spreng, R. N., Ellamil, M., Andrews-Hanna, J. R., & Christoff, K. (2015). The wandering brain: Meta-analysis of functional neuroimaging studies of mind-wandering and related spontaneous

thought processes. *NeuroImage*, *111*, 611–621.

Goncalves, M., Cardoso, C., & Badke-Schaub, P. (2013). Inspiration peak: Exploring the semantic distance between design problem and textual inspirational stimuli. *International Journal of Design Creativity and Innovation*, *1*(4), 215–232.

*Gray, K., Anderson, S., Chen, E. E., Kelly, J. M., Christian, M. S., Patrick, J., Huang, L., Kenett, Y. N., & Lewis, K. (2019). "Forward Flow": A new measure to quantify free thought an predict creativity. *American Psychologist*, *74*(5), 539–554.

Green, Cohen, M. S., Raab, H. A., Yedibalian, C. G., & Gray, J. R. (2015). Frontopolar activity and connectivity support dynamic conscious augmentation of creative state. *Human brain mapping*, *36*(3), 923–934.

Green, A. E. (2016). Creativity, Within reason: Semantic distance and dynamic state creativity in relational thinking and reasoning. *Current Directions in Psychological Science*, *25*(1), 28–35.

Green, A. E., Cohen, M. S., Kim, J. U., & Gray, J. R. (2012). An explicit cue improves creative analogical reasoning. *Intelligence*, *40*(6), 598–603.

Greenhouse, & Iyengar. (2009). Sensitivity analysis and diagnostics. In Cooper, Hedges, & Valentine (Eds.), *The handbook of research synthesis and meta-analysis 2nd edition*. New York, NY: Russell Sage Foundation.

Gruszka, & Necka. (2002). Priming and acceptance of close and remote associations by creative and less creative people. *Creativity Research Journal*, *14*(2), 193–205.

Guilford. (1950). Creativity. *American Psychologist*, *5*(9), 444–454.

Han, L., Wang, C., Yao, D., Wang, B., Zhang, Z., & Liu, J. (2020). Clinical efficacy and safety of Danhong injection for the treatment of chronic heart failure: A protocol for systematic review. *Medicine*, *99*(14), e19526.

*Hass, R. W. (2017). Tracking the dynamics of divergent thinking via semantic distance: Analytic methods and theoretical implications. *Memory & Cognition*, *45*(2), 233–244.

He, L., Kenett, Y. N., Zhuang, K., Liu, C., Zeng, R., Yan, T., Huo, T., & Qiu, J. (2020). The relation between semantic memory structure, associative abilities, and verbal and figural creativity. *Thinking & Reasoning*, 1–26.

*Heinen, D. J., & Johnson, D. R. (2018). Semantic distance: An automated measure of creativity that is novel and appropriate. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts*, *12*(2), 144–156.

Higgins, Thompson, Decks, & Altman. (2003). Measuring inconsistency in meta-analyses. *British Medical Journal*, *327*(7414), 557–560.

Hocevar, D. (1980). Intelligence, divergent thinking, and creativity. *Intelligence*, *4*(1), 25–40.

Hocevar, D., & Michael, W. B. (1979). The effects of scoring formulas on the discriminant validity of tests of divergent thinking. *Educational and Psychological Measurement*, *39*(4), 917–921.

Hoeve, M., Stams, G. J. J. M., Put, C. E. V. D., Dubas, J. S., Laan, P. H. V. D., & Gerris, J. R. M. (2012). A Meta-analysis of Attachment to Parents and Delinquency. *Journal of Abnormal Child Psychology*, *40*(5), 771–785.

Johnson, D. R., Cuthbert, A. S., & Tynan, M. E. (2019). The neglect of idea diversity in creative idea generation and evaluation. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts*, *15*(1), 125–135.

Kaufman, & Sternberg. (2010). *The Cambridge handbook of creativity*. Cambridge University Press.

Kavé, & Halamish, V. (2015). Doubly blessed: Older adults know more vocabulary and know better what they know. *Psychology Aging*, *30*(1), 68–73.

Kenett, Y. (2018). Going the Extra Creative Mile: The Role of Semantic Distance in Creativity – Theory, Research, and Measurement. In R. Jung & O. Vartanian (Eds.), *The Cambridge Handbook*

of the Neuroscience of Creativity (pp. 233-248). Cambridge University Press.

Kenett, Anaki, D., & Faust, M. (2014). Investigating the structure of semantic networks in low and high creative persons. *Frontiers in Human Neuroscience*, *8*, 407.

Kenett, Y. N. (2019). What can quantitative measures of semantic distance tell us about creativity? *Current Opinion in Behavioral Sciences*, *27*, 11–16.

Kenett, Y. N., Levi, E., Anaki, D., & Faust, M. (2017). The semantic distance task: Quantifying semantic distance with semantic network path length. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *43*(9), 1470.

Kenett, Y. N., Levy, O., Kenett, D. Y., Stanley, H. E., Faust, M., & Havlin, S. (2018). Flexibility of thought in high creative individuals represented by percolation analysis. *Psychological and Cognitive Sciences*, *115*(5), 867–872.

Kisamore, J. L., & Brannick, M. T. (2008). An illustration of the consequences of meta-analysis model choice. *Organizational Research Methods*, *11*(1), 35–53.

Kleinmintz, Ivancovsky, T., & Shamay-Tsoory, S. G. (2019). The two-fold model of creativity: the neural underpinnings of the generation and evaluation of creative ideas. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, *27*, 131–138.

Lee. (2008). Commentary: Reliability and validity of uniqueness scoring in creativity assessment. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts*, *2*(2), 103–108.

Leon, Altmann, L. J. P., Abrams, L., Rothi, L. J. G., & Heilman, K. M. (2019). Novel associative processing and aging: effect on creative production. *Aging Neuropsychology and Cognition*, *26*(6), 807–822.

Li, D., Yang, D.-L., An, J., Jiao, J., Zhou, Y.-M., Wu, Q.-J., & Wang, X.-X. (2016). Effect of assisted hatching on pregnancy outcomes: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Scientific Reports*, *6*, 31228–31228.

Light, & Pillemer. (1984). Quantitative Procedures. *In Summing up: The science of reviewing research*. Harvard University Press.

*Liu, M., Wang, Y., Li, J., Zhuang, X., Chen, X., Li, X., Liao, X., & Wang, L. (2020). Opposite effect of ablation on early/late-phase thromboembolic incidence in patients with atrial fibrillation: A meta-analysis on more than 100 000 individuals. *Clinical Cardiology*, *43*(6), 594–605.

Macaskill, P., Walter, S. D., & Irwig, L. (2010). A comparison of methods to detect publication bias in meta-analysis. *Statistics in Medicine*, *20*(4), 641–654.

Marron, T., & Faust, M. (2018). Free Association, Divergent Thinking, and Creativity: Cognitive and Neural Perspectives. In R. Jung & O. Vartanian (Eds.), *The Cambridge Handbook of the Neuroscience of Creativity* (Cambridge Handbooks in Psychology, pp. 261–280). Cambridge University Press.

Marron, T. R., Lerner, Y., Berant, E., Kinreich, S., Shapira-Lichter, I., Hendler, T., & Faust, M. (2018). Chain free association, creativity, and the default mode network. *Neuropsychologia*, *118*, 40–58.

Mednick, S. (1968). The remote associates test. *The Journal of Creative Behavior*, *2*, 213–214.

Mednick, S. (1962). The associative basis of the creative process. *Psychological Review*, *69*(3), 220–232.

*Murray, S., Liang, N., Brosowsky, N., & Seli, P. (2021). What are the benefits of mind wandering to creativity? Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts. Advance online publication.

Nikolakopoulou, A., Mavridis, D., & Salanti, G. (2014). How to interpret meta-analysis models: fixed effect and random effects meta-analyses. *Evidence Based Mental Health*, *17*(2), 64.

Orwig, W., Diez, I., Vannini, P., Beaty, R., & Sepulcre, J. (2021). Creative connections: Computational semantic distance captures individual creativity and resting-state functional connectivity. *Journal*

of Cognitive Neuroscience, *33*(3), 499–509.

Orwin, R. G., & Vevea, J. L. (1994). Evaluating coding decisions. In L. V. H. Cooper & J. C. Valentine (Eds.), *the handbook of research synthesis and meta-analysis* (pp. 177–203). New York, NY: Russell Sage Foundation.

Paulsen, J. S., Romero, R., Chan, A., Davis, A. V., Heaton, R. K., & Jeste, D. V. (1996). Impairment of the semantic network in schizophrenia. *Psychiatry Research*, *63*(2), 109–121.

Plucker, J. A., & Makel, M. C. (2010). Assessment of creativity. In Kaufman & Sternberg (Eds.), *The Cambridge handbook of creativity* (pp. 48–73). Cambridge University Press.

*Prabhakaran, R., Green, A. E., & Gray, J. R. (2013). Thin slices of creativity: Using single-word utterances to assess creative cognition. *Behavior Research Methods*, *46*(3), 641–659.

Ralph, M. A. L., Jefferies, E., Patterson, K., & Rogers, T. T. (2017). The neural and computational bases of semantic cognition. *Nature Reviews Neuroscience*, *18*(1), 42–55.

Reiter-Palmon, R., Forthmann, B., & Barbot, B. (2019). Scoring divergent thinking tests: A review and systematic framework. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts*, *13*(2), 144.

Rosenthal, & Robert. (1979). The file drawer problem and tolerance for null results. *Psychological Bulletin*, *86*(3), 638–641.

*Rossmann, E., & Fink, A. (2010). Do creative people use shorter associative pathways? *Personality and Individual Differences*, *49*(8), 891–895.

Rothenberg. (1973). Word association and creativity. *Psychological Reports*, *33*(1), 3–12.

Runco, M. A. (2002). Creativity. In V. S. Ramachandran (Ed.), *Encyclopedia of the Human Brain* (pp. 83-87). Salt Lake City, UT: Academic Press.

Runco, Abdulla, A. M., Paek, S. H., Al-Jasim, F. A., & Alsuwaidi, H. N. (2016). Which test of divergent thinking is best? *Creativity. Theories–Research-Applications*, *3*(1), 4–18.

Runco, M. A., Pritzker, S. R., & Reiterpalmon, R. (1999). *Encyclopedia of Creativity*. Salt Lake City, UT: Academic Press.

Ruth, J. E., & Birren, J. E. (1985). Creativity in adulthood and old age: Relations to intelligence, sex and mode of testing. *International Journal of Behavioral Development*, *8*(1), 99–109.

Schilling. (2005). A" small-world" network model of cognitive insight. *Creativity Research Journal*, *17*(2–3), 131–154.

Shimonaka, Y., & Nakazato, K. (2007). Creativity and factors affecting creative ability in adulthood and old age. *Japanese Journal of Educational Psychology*, *55*(2), 231–243.

Siew, Wulff, D. U., Beckage, N. M., & Kenett, Y. N. (2019). Cognitive network science: A review of research on cognition through the lens of network representations, processes, and dynamics. *Complexity*, *2019*, 2108423

Silvia, Beaty, & Nusbaum. (2013). Verbal fluency and creativity: General and specific contributions of broad retrieval ability (Gr) factors to divergent thinking. *Intelligence Norwood Mutidisciplinary Journal*, *41*(5), 328–340.

Silvia, P. J. (2015). Intelligence and creativity are pretty similar after all. *Educational Psychology Review*, *27*(4), 599–606.

Silvia, P. J., Winterstein, B. P., Willse, J. T., Barona, C. M., Cram, J. T., Hess, K. I., Martinez, J. L., & Richard, C. A. (2008). Assessing creativity with divergent thinking tasks: exploring the reliability and validity of new subjective scoring methods. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts*, *2*(2), 68–85.

Simon, & Bock. (2016). Influence of divergent and convergent thinking on visuomotor adaptation in young and older adults. *Human Movement Science*, *46*, 23–29.

Sun, J.-R., Kong, C.-F., Qu, X.-K., Deng, C., Lou, Y.-N., & Jia, L.-Q. (2020). Efficacy and safety of probiotics in irritable bowel syndrome: A systematic review and meta-analysis. *Saudi journal of gastroenterology : official journal of the Saudi Gastroenterology Association*, *26*(2), 66–77.

*Tempest, & Radel. (2019). Put on your (fNIRS) thinking cap: Frontopolar activation during augmented state creativity. *Behavioural Brain Research*, *373*, 112082.

Terrin, N., Schmid, C. H., & Lau, J. (2005). In an empirical evaluation of the funnel plot, researchers could not visually identify publication bias. *Journal of Clinical Epidemiology*, *58*(9), 894–901.

Torrance. (1965). *Rewarding creative behavior*. Denver, CO:Prentice Hall.

Torrance. (1972). Predictive validity of the torrance tests of creative thinking. *The Journal of Creative Behavior*, 6: 236–262

Torrance. (1988). The nature of creativity as manifest in its testing. *The Nature of Creativity*, 43–75.

Verhaeghen, & Paul. (2003). Aging and vocabulary scores: a meta-analysis. *Psychology and Aging*, *18*(2), 332–339.

Viechtbauer, W. (2007). Publication bias in meta-analysis: Prevention, assessment and adjustments. *Psychometrika*, *72*(2), 269–271.

Volle, E. (2018). Associative and controlled cognition in divergent thinking: Theoretical, experimental, neuroimaging evidence, and new directions. In R. E. Jung & O. Vartanian (Eds.), *The Cambridge Handbook of the Neuroscience of Creativity*. Cambridge University Press.

Wang, P., Wijnants, M. L., & Ritter, S. M. (2018). What enables novel thoughts? The temporal structure of associations and its relationship to divergent thinking. *Frontiers in Psychology*, 1771.

Weinberger, A. B., Iyer, H., & Green, A. E. (2016). Conscious Augmentation of Creative State Enhances "Real" Creativity in Open-Ended Analogical Reasoning. *PLoS One*, *11*(3), e0150773.

Wu, C. H., Cheng, Y., Ip, H. M., & McBride-Chang, C. (2005). Age differences in creativity: Task structure and knowledge base. *Creativity Research Journal*, *17*(4), 321–326.

Wulff, D. U., De Deyne, S., Jones, M. N., & Mata, R. (2019). New Perspectives on the Aging Lexicon. *Trends in Cognitive Sciences*, *23*(8), 686–698.

Zhang, Y., Li, S., & Yu, G. (2019). The relationship between self-esteem and social anxiety: A meta-analysis with Chinese students. *Advances in Psychological Science*, *27*(6), 1005–1018.

Zhang., & Niu. (2013). Creativity in the Later Life: Factors Associated with the Creativity of the Chinese Elderly. *Journal of Creative Behavior*, *47*(1), 60–76.

Zortea, M., Menegola, B., Villavicencio, A., & de Salles, J. F. (2014). Graph Analysis of Semantic Word Association among Children, Adults, and the Elderly. *Psicologian-Reflexao e Critica*, *27*(1), 90–99.

A meta-analysis of the relationship between semantic distance and creative thinking

LI Yadan[1], DU Ying[1], XIE Cong[1], LIU Chunyu[1], YANG Yilong[2], LI Yangping[1], QIU Jiang[3,4]

[1] Key Laboratory of Modern Teaching Technology (Shaanxi Normal University), Ministry of Education, Xi'an 710062, China

[2] School of English Studies, Xi'an International Studies University, Xi'an 710019, China

[3] Key Laboratory of Cognition and Personality (Southwest University), Ministry of Education, Chongqing 400715, China

[4] Faculty of Psychology, Southwest University, Chongqing 400715, China

Abstract: The development of natural language processing has offered reliable and valid research methods for exploring the relationship between semantic distance and creative thinking. There are more and more studies in this direction in recent years. However, the research findings are inconsistent in this direction. Based on the Associative Theory of Creativity and the Spreading-Activation Model, the present study investigated the relationship between semantic distance and creative thinking by using a meta-analysis method. The reasons for the inconsistency of previous studies in this line of research were also analyzed. The current research involved 14 studies and extracted 53 effect sizes from 4729 subjects. The random effect model was used for the meta-analysis. The results showed that there was a moderate positive correlation between semantic distance and creative thinking (r = 0.379, 95%CI [0.300, 0.452]). The meta-regression analysis found that the correlation was moderated by the age of participants and dimensions of creative thinking. Specifically, the results suggested that the correlation between semantic distance and creative thinking decreased with the increase in the age of participants. In addition, flexibility had a higher correlation coefficient with semantic distance than originality and fluency. However, elaboration had a negative correlation with semantic distance. This is the potential reason for the inconsistent results in previous studies. The current study provides new perspectives and explanations for exploring cognitive and neural mechanisms of creativity. It contributes to the exploration of the relationship between semantic distance and creative thinking. The current study offers better scientific evidence and important implications for interpreting, predicting, and improving creativity.

Keywords: creative thinking, semantic distance, the measure of creativity, meta-analysis